



PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁵ : G01N 29/04, B23K 11/25 G01N 29/18	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 94/03799 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 17. Februar 1994 (17.02.94)
---	----	---

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE93/00675
(22) Internationales Anmeldedatum: 2. August 1993 (02.08.93)

(30) Prioritätsdaten:
P 42 25 251.2 31. Juli 1992 (31.07.92) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):
FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.
[DE/DE]; Leonrodstr. 54, D-80636 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US) : WASCHKIES, Eckhard
[DE/DE]; Am Biesinger Berg 58, D-66440 Blieskastel
(DE).

(74) Anwalt: MÜNICH, Wilhelm; Kanzlei, Münch, Stein-
mann, Schiller, Wilhelm-Mayr-Str. 11, D-80689 Mün-
chen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE,
CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL,
PT, SE).

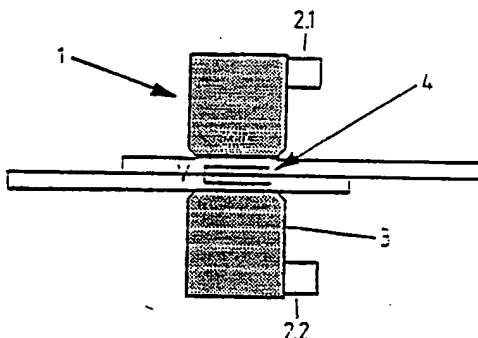
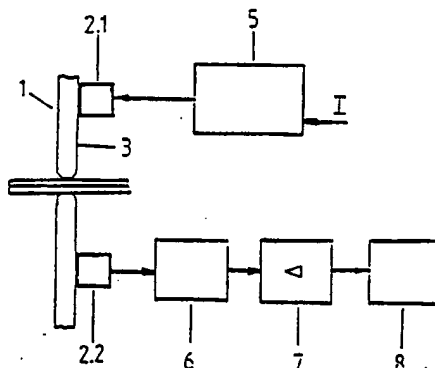
Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.

(54) Title: PROCESS FOR ASSESSING WELDED JOINTS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR BEWERTUNG VON SCHWEISSVERBINDUNGEN



(57) Abstract

The description relates to a process for the on-line assessment of welding processes, especially in resistance welding, using an ultrasonic source which applies shear waves to the weld region, and an ultrasound receiver. The process of the invention comprises the following steps: from the output signal from the ultrasound receiver is found the time t_s at which the melting point T_s of the weld material is reached and begins to form a weld bead; the weld bead volume V is calculated during the welding process from the attenuation of the shear waves after the melting point is reached.

(57) Zusammenfassung

Beschrieben wird ein Verfahren zur on-line-Bewertung von Schweißvorgängen und insbesondere von Widerstandsschweißungen, unter Verwendung einer Ultraschallquelle, die den Schweißbereich mit Scherwellen beaufschlagt, und eines Ultraschallempfängers. Das erfindungsgemäße Verfahren weist beispielsweise folgende Schritte auf: aus dem Ausgangssignal des Ultraschallempfängers wird der Zeitpunkt t_s ermittelt, an dem die Schmelztemperatur T_s des Schweißgutes erreicht wird, und sich eine Schweißlinse zu bilden beginnt; aus der Schwächung der Scherwellen nach dem Erreichen der Aufschmelztemperatur wird während des Schweißvorganges das Schweißlinsenvolumen V berechnet.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	FI	Finnland	MR	Mauritanien
AU	Australien	FR	Frankreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GA	Gabon	NE	Niger
BE	Belgien	GB	Vereinigtes Königreich	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GN	Guinea	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	GR	Griechenland	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	HU	Ungarn	PL	Polen
BR	Brasilien	IE	Irland	PT	Portugal
BY	Belarus	IT	Italien	RO	Rumänien
CA	Kanada	JP	Japan	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SD	Sudan
CG	Kongo	KR	Republik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	SK	Slowakischen Republik
CM	Kamerun	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CN	China	LU	Luxemburg	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LV	Lettland	TG	Togo
CZ	Tschechischen Republik	MC	Monaco	UA	Ukraine
DE	Deutschland	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
DK	Dänemark	ML	Mali	UZ	Usbekistan
ES	Spanien	MN	Mongolei	VN	Vietnam

Verfahren zur Bewertung von Schweißverbindungen

B e s c h r e i b u n g

Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Bewertung von Schweißvorgängen und insbesondere von Widerstandsschweißungen, unter Verwendung einer Ultraschallquelle, die den Schweißbereich mit Ultraschallwellen beaufschlagt, und eines Ultraschallempfängers.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist nicht nur beim Widerstandsschweißen, sondern bei den verschiedensten Schweißvorgängen, wie Laserschweißen, Gasschweißen etc. anwendbar.

Stand der Technik

In "Materials Evaluation" Nr. 47 vom August 1989, Seiten 935 - 943 wird ein Verfahren beschrieben, bei dem der Schweißbereich bzw. der Schweißpunkt während des gesamten Widerstandsschweißprozesses durchschallt wird.

Der Widerstandsschweißprozess besteht i.a. aus drei Phasen. Die erste Phase ist die sogenannte Vorpreßzeit. In dieser Zeit fließt kein Strom. Die Elektroden schließen sich; hierdurch wird die Elektrodenkraft von 1-3 KN aufgebaut. Danach folgt die Stromflußphase, in der die Bleche aufgeheizt werden. An die Stromflußphase schließt sich die Nachpreßzeit oder Abkühlphase an. In dieser Phase kühlt die Schweißlinse ab, erst danach

- 2 -

öffnen sich die Schweißelektroden. Alle drei Phasen sind im Regelfall gleich lang.

Die Durchschallung erfolgt bei dem vorgenannten Verfahren mit einem longitudinalen Ultraschallgeber im Frequenzbereich von 2 MHz, der innerhalb der Schweißelektroden am Elektrodenboden angebracht ist. Die Durchschallung beginnt in der Vorpreßzeit, in der noch kein Strom fließt, und dauert bis zum Ende der Nachpreßphase. Insbesondere wird dabei die Ultraschalldurchlässigkeit des Schweißpunktes in der Nachpreßphase bewertet, wobei die Abkühldauer bis zum Erreichen des Minimums der Ultraschalldurchlässigkeit bestimmt und mit dem aufgeschmolzenen Schweißlinsenvolumen korreliert wird.

Das Minimum der Ultraschalldurchlässigkeit entsteht nach der in diesem Artikel vertretenen Ansicht am Umwandlungspunkt des Eisens vom austenitischen in den ferritischen Zustand (Curiepunkt) infolge einer erhöhten Ultraschallabsorption an diesem Umwandlungspunkt.

Nachteilig an diesem Verfahren ist jedoch, daß der Schweißprozeß bereits beendet ist und die Schweißlinse abkühlt, wenn die Schweißlinsenbewertung durchgeführt wird. Der Schweißprozeß kann nicht mehr beeinflusst werden. Eine als fehlerhaft erkannte Schweißung kann allenfalls nachgeschweißt werden.

Aus der DE-AS 26 55 415 ist eine Vorrichtung zum Überwachen eines Widerstands-Punktschweißvorgangs bekannt, bei der der Schweißpunkt vom inneren Elektrodenboden aus während des Stromflusses durchschallt wird, wobei das an der gegenüberliegenden Elektrode reflektierte Ultraschallsignal empfangen und ausgewertet wird.

In dieser Druckschrift wird über die benutzte Wellenart nicht ausgesagt; der Verlauf der Ultraschalldurchlässigkeit hängt aber wesentlich von der benutzten Wellenart ab, so die Annahme, daß die Schalldurchlässigkeit des Schweißpunktes während des Schweißvorganges zunächst ein relatives Maximum erreicht, dann auf ein Minimum abfällt und im weiteren Verlauf wieder auf ein zweites Maximum ansteigt, nicht nachvollziehbar ist.

Das erste Maximum der Ultraschalldurchlässigkeit wird dadurch erklärt, daß der Temperaturanstieg in den zu verschweißenden Blechen den Ultraschallkontakt zwischen den Elektroden und dem Blech sowie zwischen den Blechen verbessert. Das darauffolgende Minimum soll davon herühren, daß das Schweißgut aufschmilzt. Das aufgeschmolzene Eisen erhöht die Ultraschallabsorption und reduziert die Schalldurchlässigkeit. Der im weiteren Verlauf der Schweißung sich ergebende erneute Anstieg der Ultraschalldurchlässigkeit wird nicht erklärt, obwohl - wie erst erfindungsgemäß erkannt worden ist - dieser Anstieg wesentlich für die Bewertung des Schweißvorganges ist. Das Bewertungsverfahren ermittelt den Betrag des erneuten Anstieges der Ultraschalldurchlässigkeit. Aus dieser Meßgröße wird die Größe der Schweißlinse bestimmt. Die physikalische Erklärung für dieses Verfahrensprinzip ist in sich widersprüchlich. Das Verfahren beruht auf der Messung der Differenz zweier Ultraschalldurchlässigkeitswerte.

Das in "Materials Evaluation" Nr. 15 vom Oktober 1967, Seiten 226 - 230 vorgeschlagene Verfahren arbeitet ebenfalls mit Ultraschallsensoren, die hochfrequente

longitudinale Ultraschallsignale im Frequenzbereich von 2 MHz erzeugen, mit denen die Durchschallung der Schweißpunkte durchgeführt wird.

Nach Ansicht der Autoren ist jedoch mit einer Durchschallung des Schweißpunktes dessen Bewertung nicht möglich, zumindest nicht in der Abkühlphase. Die Autoren dieses Artikels begründen dies mit einer Spaltbildung zwischen den Schweißelektroden und den zu verschweißenden Blechen. Bei der Erstarrung der Schweißlinse schrumpft das Material, wodurch sich zwischen Elektrode und Blech ein Spalt bildet, der die Ultraschalldurchlässigkeit vermindert.

Weiterhin kann aus dem Verlauf der Ultraschalldurchlässigkeit vor, während und nach der Schweißung, lediglich auf das Maß der Wärmeeinbringung in den Schweißpunkt geschlossen werden.

Bei dem vorgeschlagenen Verfahren wird deshalb der Verlauf der Ultraschalldurchlässigkeit des gesamten Schweißvorganges von der Vorpreßzeit bis einschließlich der Abkühlphase mit einem vorgegebenen Musterverlauf verglichen. Das Verfahren analysiert jedoch nicht das Verhalten der Ultraschalldurchlässigkeit während der Stromflußphase.

In Materialprüfung 32 (1990) 10; Seiten 311 - 312 werden Untersuchungsergebnisse zur Ultraschallprüfung von Punktschweißungen vorgestellt: Bei diesen Untersuchungen wird die Schalldurchlässigkeit in der Vorpreßzeit vor Beginn des Stromflusses verglichen mit der Ultraschalldurchlässigkeit in der Nachpreßzeit nach Beendigung des Stromflusses.

Das Absinken der Ultraschalldurchlässigkeit der Schweißlinse in der Abkühlphase gegenüber der höheren Ultraschalldurchlässigkeit vor der Schweißung wird mit einer Spaltbildung zwischen Elektrode und Blech erklärt. Dabei wird die Ansicht vertreten, daß es wegen der Spaltbildung zwischen Schweißelektroden und den zu verschweißenden Blechen prinzipiell unmöglich ist, mit einer Durchschallung der Schweißpunkte Klebeschweißungen zu erkennen.

Das hier beschriebene technische Handeln beschränkt sich also auf einen Vergleich der Ultraschalldurchlässigkeit des Schweißpunktes vor und nach der Stromflußphase. Die Ultraschalldurchlässigkeit während der Stromflußphase wird nicht analysiert.

Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Bewertung von Schweißvorgängen und insbesondere von Widerstandsschweißverbindungen unter Verwendung einer Ultraschallquelle, die den Schweißbereich mit Ultraschallwellen beaufschlagt, und eines Ultraschallempfängers, anzugeben, das on-line während des Schweißvorganges zur Bewertung der Schweißverbindung die Ermittlung der für die Güte der Schweißung relevanten Parameter erlaubt, und das insbesondere während des Zeitraumes, während dem ein aufgeschmolzener Bereich existiert, Aussagen über den Schweißvorgang liefert.

Weiterhin soll erfindungsgemäß eine Anordnung zur Bewertung von Schweißvorgängen angegeben werden, die es bei der Analyse von Widerstandsschweißverbindungen erlaubt, die Ultraschallsensorik vom Elektrodenboden wegzuverlagern.

Eine erfindungsgemäße Lösung dieser Aufgabe mit ihren Weiterbildungen ist in den Patentansprüchen angegeben.

Die Erfindung geht von dem Grundgedanken aus, die Temperaturabhängigkeit der Ultraschalldurchlässigkeit der Schweißlinse bzw. des Schweißpunktes in der Stromflußphase für die Schweißpunktbewertung zu nutzen.

Bei allen aus dem Stand der Technik bekannten Vorschlägen, ausgenommen die in der DE-AS 26 55 415 beschriebene Vorrichtung, wird nicht die Ultraschalldurchlässigkeit des Schweißpunktes während der Stromflußphase analysiert.

Die Bewertung der Ultraschalldurchlässigkeit des Schweißpunktes während der Stromflußphase beschränkt sich jedoch in der DE-AS 26 55 415 auf die Bestimmung der Differenz zweier Amplitudenwerte: der Differenz zwischen der Ultraschalldurchlässigkeit am Ende der Stromflußphase und dem Minimalwert der Ultraschalldurchlässigkeit während der Stromflußphase. Eine physikalische Erklärung für diese Vorgehensweise wird nicht gegeben. Das Bewertungsverfahren selbst steht darüberhinaus im Widerspruch zu den Erkenntnissen der vorliegenden Erfindung über die Temperaturabhängigkeit der Ultraschalldurchlässigkeit der Schweißpunkte für Transversal- bzw. Torsionswellen.

Wesentliche Gründe für die Temperaturabhängigkeit der Ultraschalldurchlässigkeit der Schweißpunkte sind nämlich bisher nicht erkannt worden. Dies wird im folgenden näher erläutert:

- 7 -

In den eingangs genannten Druckschriften werden unterschiedliche Ursachen für die Veränderung der Ultraschalldurchlässigkeit während der einzelnen Phasen des Schweißprozesses genannt. Beispielsweise wird eine erhöhte Schallschwächung bei der Curietemperatur oder am Schmelzpunkt angenommen. Des weiteren wird eine Spaltbildung zwischen den Schweißelektroden und den Blechen für die Ultraschallschwächung in der Abkühlphase verantwortlich gemacht.

Im Gegensatz dazu geht die Erfindung davon aus, daß die Durchschallung des Schweißpunktes - beispielsweise von den Schweißelektroden aus - modellmäßig als Ultraschalldurchgang durch eine planparallele Platte beschrieben werden kann, wobei die Elektroden die Rolle des schallein- bzw. ableitenden Mediums spielen, und das Schweißgut die Rolle der durchschallten Platte. Diese Modellvorstellung gilt entsprechend abgewandelt auch für andere Schweißverfahren, wie beispielsweise Laserschweißungen, bei denen die Erfindung ebenfalls anwendbar ist.

Aufbauend auf diesem der Erfindung zugrundeliegenden Gedanken werden erfindungsgemäß zwei Vorgehensweisen vorgeschlagen, die alternativ und/oder kumulativ eingesetzt werden können. Beim kumulativen Einsatz ist dann eine Kontrolle der mit der ersten Vorgehensweise erhaltenen Ergebnisse durch die mit der zweiten Vorgehensweise erhaltenen Ergebnisse möglich:

Bei der ersten Vorgehensweise wird erfindungsgemäß davon ausgegangen, daß die Ultraschalldurchlässigkeit des Schweißgutes in der festen Phase, d.h. vor Erreichen der Schmelztemperatur, durch die Temperaturabhän-

gigkeit des Schallwellenwiderstandes des Schweißgutes bestimmt wird. Aus dieser Temperaturabhängigkeit wird der Temperaturverlauf im Schweißpunkt ermittelt. Aus dem Temperaturverlauf und dem Aufschmelzzeitpunkt wird während der Schweißung der (voraussichtlich erreichte) Schweißlinsendurchmesser errechnet.

Erfindungsgemäß wird aus den während der Schweißung gemessenen Werten für die Schalldurchlässigkeit $D(t)$ die Schallgeschwindigkeit $c_2(t)$ im Schweißpunkt ermittelt. Die hierfür herangezogenen Gleichungen (3) und (4) sind Näherungsformeln (für den Fall planparalleler Platten), die vom Anwendungsfall abhängig auch durch andere Näherungen ersetzt werden können.

$$(3) \quad D(t) = 1 / \{ 1 + 1/4 * [m(t) - 1/m(t)]^2 * \sin^2(2 * \pi * d / \lambda) \}$$

wobei gilt:

$$(2) \quad m(t) = Z_1 / Z_2 \quad \text{und}$$

$$(1) \quad \begin{aligned} Z_1 &= \sigma_1 * c_1(t) \\ Z_2 &= \sigma_2 * c_2(t) \end{aligned}$$

In den Gleichungen (1) bis (3) bedeuten:

- Z_1 Schallwellenwiderstand der Elektroden,
- Z_2 Schallwellenwiderstand der Schweißlinse,
- m Verhältnis der Schallwellenwiderstände Z_1/Z_2 ,
- D Ultraschalldurchlässigkeitsfaktor,
- σ_1 Dichte der Schweißelektrode,
- σ_2 Dichte des Schweißgutes,
- c_1 Schallgeschwindigkeit des Elektrodenmaterials,
- c_2 Schallgeschwindigkeit des Schweißgutes,

d Dicke der Schweißlinse,
 λ Ultraschallwellenlänge.

Aus Gleichung (3) ergibt sich durch Einsetzen der Gleichungen (1) und (2) und umformen:

$$(4) \quad c_2(t) = (\sigma_1 \cdot c_1 / \sigma_2) \cdot 1 / \sqrt{(1 + (\sigma_1 \cdot c_1 / \sigma_2) \sqrt{(1/D(t) - 1)})^2 / \pi \cdot d \cdot f}$$

In Gleichung (4) bedeutet f die Ultraschallfrequenz.

Von der Überlegung ausgehend, daß sich jedem Schall-durchlässigkeitswert D(t) eine Temperatur T(t) im Schweißpunkt zuordnen läßt, wird erfindungsgemäß der Temperaturverlauf im Schweißpunkt T(t) als Funktion der Schweißdauer ermittelt. Die Erfindung beinhaltet damit auch ein Verfahren zur Temperaturmessung unter schwierigen Umgebungsbedingungen, wie sie beispielsweise bei Schweißungen vorliegen:

Hierzu wird die Schallgeschwindigkeit $c_2(t)$ im Schweißpunkt mit einer vorgegebenen Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit $c_2(T)$ verglichen, und so die jeweilige Temperatur ermittelt.

Im weiteren Verfahrensablauf wird aus dem ermittelten Temperaturverlauf im Schweißpunkt durch Vergleich des aktuellen Temperaturwertes T(t) mit der Schmelztemperatur T_s des Schweißgutes der Aufschmelzzeitpunkt t_s im Schweißpunkt ermittelt.

Der ermittelte Aufschmelzpunkt t_s kennzeichnet dabei den Beginn der Schweißlinzenbildung, wobei die ab diesem Zeitpunkt zugeführte Energie zur Schweißlinzenbildung dient.

Aus theoretischen Überlegungen findet man für den Zusammenhang zwischen dem Quadrat des Schweißlinsendurchmessers ϕ^2 und dem Aufschmelzzeitpunkt t_s einen Zusammenhang nach Gleichung (5)

$$(5) \quad \phi^2 = \phi_e^2 * 2 * T_s * B * c_s * (t - t_s) / (c_v * (\exp(B * t_s) - 1))$$

In Gleichung (5) bedeuten:

- ϕ Schweißlinsendurchmesser,
- ϕ_e Elektrodendurchmesser,
- T_s Schmelztemperatur des Schweißgutes,
- c_s spezifische Schmelzwärme des Schweißgutes,
- c_v spezifische Wärme des Schweißgutes,
- t_s Aufschmelzzeitpunkt,
- t Gesamtschweißdauer.

B ist die Konstante aus der weiter unten angegebenen Gleichung (6).

Aus Gleichung (5) läßt sich direkt nach der Ermittlung des Aufschmelzzeitpunktes t_s und noch während der Schweißung der am Ende der Schweißdauer t zu erwartende Schweißlinsendurchmesser ϕ ermitteln. Damit ist es prinzipiell möglich, noch während der Schweißung insbesondere durch Änderung der Stromstärke I oder der Schweißdauer t das Schweißergebnis regelnd zu beeinflussen.

Für den zeitlichen Temperaturverlauf $T(t)$ im Schweißgut kann ein funktionaler Zusammenhang nach Gleichung (6) angenommen werden.

$$(6) \quad T(t) = A * (1 - \exp(-(B * t)))$$

Dabei gelten für die Konstanten A und B die Beziehungen

$$(7) \quad A = J^2 \cdot R_o \cdot d / k$$

$$(8) \quad B = k / (c_v \cdot \sigma \cdot d)$$

In den Gleichungen (7) und (8) bedeuten

- J Stromdichte durch den Schweißpunkt,
- R_o spezifische elektrische Widerstand des Schweißgutes,
- d Blechdicke,
- k Wärmeleitzahl des Systems Blech/Elektrode,
- σ Dichte des Schweißgutes,
- c_v spezifische Wärme des Schweißgutes.

Aus (7) und (8) ergibt sich für die Stromdichte:

$$(11) \quad J^2 = A \cdot B \cdot c_v \cdot \sigma / d$$

Daraus leitet sich ab, daß die Stromdichte durch den Schweißpunkt direkt proportional dem Produkt der Konstanten A und B ist. Die Proportionalitätskonstanten sind bekannte Materialkonstanten, die gegebenenfalls auch experimentell ermittelt werden können.

Der zu ermittelnde reale Temperaturverlauf $T(t)$ in der Schweißlinse wird durch Gleichung (6) angenähert, wobei die Konstanten A und B in Gleichung (6) beispielsweise durch ein "best fit"-Verfahren ermittelt werden.

Durch Benutzung der Gleichung (6) und der auf diese Weise bestimmten Konstanten A und B kann ein "best fit-Aufschmelzzeitpunkt" t_s ermittelt werden. Dieser "best fit" Aufschmelzzeitpunkt t_s ist weitgehend unabhängig

- 12 -

von zufälligen Meßwertschwankungen der Ultraschall-durchlässigkeit D.

Zur Ermittlung der absoluten Schweißlinsengröße kann bei Messung der Stromstärke I der Elektrodendurchmesser ϕ_e nach Gleichung (12)

$$(12) \quad \phi_e^2 = I^2 \cdot R_o / (A \cdot B \cdot c_v \cdot \sigma)$$

bestimmt werden. In Gleichung (12) bedeuten

I den Effektivwert der Stromstärke,

A und B die Konstanten aus Gleichung 6,

R_o der spez. elektrischen Widerstand des Schweißgutes,

c_v die spez. Wärme des Schweißgutes,

σ die Dichte des Schweißgutes.

Bei der zweiten Vorgehensweise wird erfindungsgemäß die Tatsache genutzt, daß Scherwellen, wie Transversal- oder Torsionswellen in Flüssigkeiten nicht bzw. schlecht ausbreitungsfähig sind. Die Ultraschallschwächung dieser Wellen wird nach Erreichen der Schmelztemperatur durch die Größe des aufschmelzenden Schweißlinsenvolumens bestimmt. Aus dem Wert der Ultraschallschwächung nach Erreichen der Schmelztemperatur im Schweißpunkt wird direkt die Größe des Schweißlinsendurchmessers ermittelt.

Erfindungsgemäß wird deshalb aus dem Ausgangssignal des Ultraschallempfängers der Zeitpunkt t_s ermittelt, an dem die Schmelztemperatur T_s des Schweißgutes erreicht wird, und sich eine Schweißlinse zu bilden beginnt.

Dabei kann insbesondere aus der Schwächung der Scherwellen nach dem Erreichen der Aufschmelztemperatur

- 13 -

während des Schweißvorganges das Schweißlinsenvolumen V berechnet werden.

Dabei kann das momentane Schweißlinsenvolumen V zum Zeitpunkt $t > t_s$ über folgende Beziehung bestimmt werden:

$$(12') \quad V = B' * (D(t) - D(t_s)) + C'$$

hierbei bedeuten:

B' , C' experimentell bestimmte Konstanten

$D(t)$ Ultraschalldurchlässigkeit zum Zeitpunkt t

$D(t_s)$ Ultraschalldurchlässigkeit beim Erreichen der Schmelztemperatur.

Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, das am Ende der Schweißung erreichte Schweißlinsenvolumen V aus dem Zeitraum Δt vom Aufschmelzzeitpunkt bis zum Ende der Schweißung über folgende Beziehung zu bestimmen:

$$(13) \quad V = B'' * \Delta t + C'',$$

hierbei sind B'' und C'' ebenfalls experimentell zu ermittelnde Konstanten.

Bei einer weiteren Möglichkeit wird das in einem Zeitraum Δt vom Erreichen der Schmelztemperatur bis zum Ende der Schweißung erreichbare Schweißlinsenvolumen über folgende Beziehung ermittelt:

$$(14) \quad V = B''' (\Delta t + D(t_s) / ([D(t_s + \delta t) - D(t_s)] / \delta t)) + C'''$$

hierbei bedeuten:

B'' , C'' experimentell bestimmte Konstanten
 $D(t_s)$ Ultraschalldurchlässigkeit beim Erreichen der
 Schmelztemperatur, und
 δt "Zeitdifferential", d.h. kleines Zeitintervall.

Weiterhin ist es möglich, zur Bestimmung der Schalldurchlässigkeit $D(t)$ des Schweißbereichs während jeder Stromhalbwelle des Schweißstromes aus dem Ausgangssignal $A(t)$ des Ultraschallempfängers innerhalb eines ersten Zeitfensters i , das gegenüber dem Ultraschall-Sendesignal, dessen Sendepegel konstant gehalten wird, um eine definierte Verzögerungszeit verzögert ist, die mittlere Ultraschallenergie E_{1i} gemäß der folgenden Gleichung zu ermitteln:

$$(15) \quad E_{1i} = 1/\Delta t_1 \int_0^{\Delta t_1} A(t)^2 dt$$

Innerhalb eines zweiten, vor oder nach dem ersten Zeitfenster liegenden Zeitfensters, während dem keine Beaufschlagung des Schweißgutes mit Ultraschallwellen erfolgt, kann die durch den Schweißvorgang entstehende mittlere Schallemissionsenergie E_{2j} gemäß der folgenden Gleichung ermittelt werden

$$(16) \quad E_{2j} = 1/\Delta t_2 \int_0^{\Delta t_2} A(t)^2 dt.$$

Eine Alternative hierzu ist die folgende Vorgehensweise, gemäß der zur Bestimmung der Schalldurchlässigkeit $D(t)$ des Schweißbereichs während jeder Stromhalbwelle des Schweißstromes aus dem Ausgangssignal $A(t)$ des

Ultraschallempfängers innerhalb eines ersten Zeitfensters i , das gegenüber dem Ultraschall-Sendesignal, dessen Sendepiegel konstant gehalten wird, um eine definierte Verzögerungszeit verzögert ist, die Ultraschallgröße E_{1i} aus dem maximalen innerhalb dieses Zeitfensters auftretenden Ausgangssignals $A(t)$ ermittelt wird. Innerhalb eines zweiten, vor oder nach dem ersten Zeitfenster liegenden Zeitfensters, während dem keine Beaufschlagung des Schweißgutes mit Ultraschallwellen erfolgt, wird die durch den Schweißvorgang entstehende Schallemissionsgröße E_{2j} aus dem maximalen innerhalb des zweiten Zeitfensters auftretenden Ausgangssignal $A(t)$ ermittelt.

Diese Vorgehensweisen erlauben es, daß bestimmte Meßwerte für die Ultraschalldurchlässigkeit D korrigiert werden, wenn der laufend bestimmte Schallemissionspegel E_{2j} einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet. Die Korrektur kann dadurch erfolgen, daß der gestörte Schalldurchlässigkeitswert E_{1i} durch den Mittelwert der beiden Nachbarwerte ersetzt wird.

Bei der erfindungsgemäßen Anordnung zur Ultraschalleinbringung bei der Analyse von Widerstandsschweißverbindungen wird der Schweißpunkt während des Schweißens durchschallt: Die Ultraschallsignale werden mit einem Ultraschallwandler beispielsweise in eine der Schweißelektroden eingebracht; die Ultraschallsignale werden nach der Durchschallung des Schweißpunktes bzw. des geschweißten Bereichs von einem Empfänger empfangen, dessen Ausgangssignal zur Bewertung und gegebenenfalls zur Regelung von Schweißprozessen eine Auswerte- und Steuereinheit auswertet,

Im Stand der Technik sind ausschließlich Verfahren zur Bewertung von Punktschweißungen mit Hilfe der Ultraschallanalyse beschrieben, bei denen der Schweißpunkt von einem der inneren Schweißelektrodenböden aus mit Ultraschallimpulsen in Form hochfrequenter Longitudinalwellen durchschallt wird. Im Gegensatz hierzu erfolgt erfindungsgemäß die Anordnung des Ultraschallsenders und ggf. -empfängers an der Außenwand des Elektrodenschaftes oder des Elektrodenhalters.

Hierfür ist jedoch Voraussetzung, daß die für die Durchschallung der Schweißpunkte erzeugten und eingesetzten Schallwellen ein gutes Ausbreitungsverhalten in der Elektrodenwandung haben. Dies wird dadurch ermöglicht, daß für die Durchschallung der Schweißlinse keine Longitudinalwellen benutzt werden, sondern Scherwellen und insbesondere Transversalwellen oder Torsionswellen. Die Ultraschallanregung erfolgt dabei derart, daß in den Elektrodenwandungen beispielsweise mit einem elektroakustischen Ultraschallwandler eine Transversal- oder Torsionswelle erzeugt wird.

Die konkrete Ausführung erfolgt in der Weise, daß an der Außenwand des Elektrodenschaftes oder des Elektrodenhalters der einen Elektrode des Schweißgerätes ein Ultraschallsender angeordnet wird und analog dazu die Außenwand der anderen Schweißelektrode mit einem Ultraschallempfänger versehen wird.

Falls ein Ultraschallwandler eingesetzt wird, der im Sende- und Empfangsbetrieb arbeiten kann, wird diese Ultraschallsensorik lediglich an der Außenwand des Elektrodenschaftes oder Elektrodenhalters einer Elektrode befestigt.

Die für die Durchschallung eingesetzten Transversal- oder Torsionswellen liegen dabei vorzugsweise im Frequenzband von 50 bis 500 kHz.

Der Arbeitsbereich kann aber auch bis 1 MHz betragen.

Für die Einleitung der horizontal polarisierten Transversalwelle in die Elektrodenwandung ist wesentlich, daß der Polarisationsvektor senkrecht zur Rohrachse der Elektroden verläuft.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung erläutert:

Fig. 1 die schematische Darstellung der Elektrodenanordnung einer Punktschweißanlage,

Fig. 2 die schematische Darstellung des Verlaufs einer Transversalwelle in der Rohrwandung einer Elektrode.

Beschreibung von Ausführungsbeispielen

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird aus den während der Schweißung gemessenen Werten für die Schalldurchlässigkeit $D(t)$ die Schallgeschwindigkeit $c_2(t)$ im Schweißpunkt zu ermittelt.

Für Widerstandsschweißungen von Blechen können die im folgenden angegebenen Näherungsformeln verwendet werden, die für den Anwendungsfall "Schalldurchgang durch eine planparallele Platte" gelten. Bei anderen Konfigu-

rationen und/oder Schweißverfahren sind die Näherungsformeln entsprechend dem jeweiligen Anwendungsfall abzuwandeln:

$$(3) \quad D(t) = 1 / (1 + 1/4 * (m(t) - 1/m(t))^2 * \sin^2(2 * \pi * d / \lambda))$$

wobei

$$(2) \quad m(t) = Z_1 / Z_2 \quad \text{und}$$

$$(1) \quad \begin{aligned} Z_1 &= \sigma_1 * c_1(t) \\ Z_2 &= \sigma_2 * c_2(t) \end{aligned}$$

In den Gleichung (1) - (3) bedeuten:

- Z_1 = Schallwellenwiderstand der Elektroden,
- Z_2 = Schallwellenwiderstand der Schweißlinse,
- m = Verhältnis der Schallwellenwiderstände Z_1/Z_2 ,
- D = Ultraschalldurchlässigkeitsfaktor,
- σ_1 = Dichte der Schweißelektrode,
- σ_2 = Dichte des Schweißgutes,
- c_1 = Schallgeschwindigkeit des Elektrodenmaterials,
- c_2 = Schallgeschwindigkeit des Schweißgutes,
- d = Dicke der Schweißlinse,
- λ = Ultraschallwellenlänge.

Aus Gleichung (3) erkennt man, daß der Durchlässigkeitsfaktor D vom Verhältnis m der Schallwellenwiderstände der Elektrode Z_1 , und dem Schallwellenwiderstand Z_2 des Schweißgutes, abhängt. Die Schallwellenwiderstände der Schweißelektrode Z_1 und des Schweißgutes Z_2 ergeben sich nach Gleichung (1) näherungsweise aus dem Produkt von Dichte σ und Schallgeschwindigkeit c in dem jeweiligen Medium.

Die Erfindung geht nun davon aus, daß die Änderung der Ultraschalldurchlässigkeit des Schweißpunktes durch die temperaturbedingte Änderung der Schallgeschwindigkeit c_2 im Schweißpunkt verursacht wird und zwar dadurch, daß bei einer Änderung der Schallgeschwindigkeit c_2 im Schweißpunkt, sich nach Gleichung (1) der Schallwellenwiderstand Z_2 des Schweißpunktes verändert, während der Schallwellenwiderstand der Elektroden Z_1 konstant bleibt. Damit ändert sich das Verhältnis der Schallwellenwiderstände m und entsprechend Gleichung (3) der Durchlässigkeitsfaktor D . Der Term mit $\sin^2 (2\pi d/\lambda)$ soll im folgenden als Konstante betrachtet und zunächst unberücksichtigt bleiben.

Nimmt man an, daß die Schweißelektroden aus Kupfer sind und die zu verschweißenden Bleche aus Eisen, dann ist zu Beginn der Stromflußphase (bei Raumtemperatur) der Schallwellenwiderstand in Kupfer ($Z_1 = 20,1$) kleiner, als der Schallwellenwiderstand in Eisen ($Z_2 = 25,3$). Der Durchlässigkeitsfaktor D ist damit zu Beginn der Schweißung nach Gleichung (3): $D < 1$.

Beim Schweißen sinkt infolge der Temperaturerhöhung die Schallgeschwindigkeit im Eisen und damit auch der Schallwellenwiderstand Z_2 . Die Schalldurchlässigkeit D erreicht nach Gleichung (3) temperaturbedingt zunächst ein Maximum, nämlich zu dem Zeitpunkt t , bei dem der Schallwellenwiderstand des Eisens Z_2 den Wert des Schallwellenwiderstandes der Schweißelektroden Z_1 annimmt; in diesem Fall ist $m = 1$ und nach Gleichung (3) ist dann die Durchlässigkeit D des Schweißpunktes maximal d.h. $D = 1$.

Bei einer weiteren Temperaturerhöhung nimmt der Schallwellenwiderstand des Eisens weiter ab, und damit wird auch der Durchlässigkeitsfaktor D wieder kleiner. Die Schalldurchlässigkeit des Schweißpunktes wird bis zum Erreichen der Schmelztemperatur durch Gleichung (3) bestimmt. Nach Erreichen der Schmelztemperatur wird die Schalldurchlässigkeit weiter vermindert, jetzt jedoch durch die starke Schallschwächung von Scherwellen in flüssigen Medien. Der Schwächungsgrad der Transversalwellen nach Erreichen der Schmelztemperatur T_s hängt direkt von der Größe des aufgeschmolzenen Volumens ab. Hierbei gelten die bereits angegebenen Zusammenhänge.

Ein erneuter Anstieg der Ultraschalldurchlässigkeit ist deshalb im Gegensatz zu Aussagen des Standes der Technik (DE-AS 26 55 415) kein Zeichen für eine gute Schweißung, sondern läßt auf Störungen im Schweißprozeß schließen. Vor allem aber beziehen sich die Aussagen im Stand der Technik nicht auf Scherwellen.

Beim Punktschweißprozeß kommt es vor, daß das aufgeschmolzene Schweißgut z.B. durch Spritzerbildung oder zu geringem Elektrodendruck während der Schweißung aus der Schweißlinse herausgedrückt wird. In diesem Fall geht der Schweißlinse flüssiges Schweißgut verloren, samt der darin gespeicherten Wärmeenergie. Dieser Effekt macht sich durch einen Wiederanstieg des Durchlässigkeitsfaktors D bemerkbar.

Ausgehend von dem Zusammenhang zwischen der Ultraschalldurchlässigkeit D und dem Schallwellenwiderstand Z_2 im Schweißpunkt, läßt sich aus Gleichung (3) der in Gleichung (4) dargestellte Zusammenhang zwischen der Schallgeschwindigkeit c_2 im Schweißpunkt und dem Durch-

- 21 -

lässigkeitsfaktor D des Schweißpunktes ableiten.

$$(4) \quad c_2(t) = \sigma_1 * c_1 / \sigma_2 * 1 / \sqrt{(1 + \sigma_1 * c_1 / \sigma_2 \sqrt{(1/D(t) - 1)})} / \pi * d * f$$

In Gleichung (4) bedeutet f die Ultraschallfrequenz.

Damit kann dem Durchlässigkeitsfaktor D(t) mit Hilfe von Gleichung (4) die Schallgeschwindigkeit im Schweißgut $c_2(t)$ zugeordnet werden. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es damit, den Temperaturverlauf im Schweißpunkt T(t) als Funktion der Schweißdauer zu ermitteln. Dabei wird die Schallgeschwindigkeit $c_2(t)$ im Schweißpunkt mit einer vorgegebenen Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit $c_2(T)$ verglichen.

Dies geschieht dadurch, daß die ermittelte Schallgeschwindigkeit $c_2(t)$ mit einer vorgegebenen Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit im Schweißgut, $c_2(T)$, verglichen wird. Dazu wird in diesem Ausführungsbeispiel für die Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit im Schweißgut beispielhaft die folgende angenommene lineare Beziehung benutzt.

$$(4') \quad T(t) = (c_{20} - c_2(t)) * T_s / c_2$$

In dieser Gleichung bedeutet

- c_{20} die Schallgeschwindigkeit im Schweißgut bei Raumtemperatur,
- T_s die Schmelztemperatur des Schweißgutes und
- c_2 die Differenz der Schallgeschwindigkeiten zwischen Raumtemperatur und Schmelztemperatur.

Diese Beziehung kann durch eine für den jeweiligen Anwendungsfall experimentell oder theoretisch ermittelte Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit ersetzt werden.

Im weiteren wird aus dem ermittelten Temperaturverlauf $T(t)$ im Schweißpunkt durch Vergleich mit der Schmelztemperatur des Eisens T_s , der Aufschmelzzeitpunkt t_s des Schweißgutes bestimmt. Der ermittelte Aufschmelzzeitpunkt t_s kennzeichnet den Beginn der Schweißlinsenbildung.

Der ermittelte Aufschmelzpunkt t_s kennzeichnet dabei den Beginn der Schweißlinsenbildung, wobei die ab diesem Zeitpunkt zugeführte Energie zur Schweißlinsenbildung dient.

Für den zeitlichen Temperaturverlauf $T(t)$ im Schweißgut kann ein funktionaler Zusammenhang nach Gleichung (5) angenommen werden.

$$(5) \quad T(t) = A * [1 - \exp(-B*t)]$$

Dabei gelten für die Konstanten A und B die Beziehungen

$$(6) \quad A = J^2 * R_o * d / k$$

$$(7) \quad B = k / (c_v * \sigma * d)$$

In Gleichung (6) und (7) bedeuten

J die Stromdichte durch den Schweißpunkt,
 R_o der spezifische elektrische Widerstand des
Schweißgutes,
d die Blechdicke,

- 23 -

k die Wärmeleitzahl des Systems Blech / Elektrode,
 σ die Dichte des Schweißgutes,
 c_v die spez. Wärme des Schweißgutes.

Aus den Gleichungen (6) und (7) ergibt sich für die Stromdichte folgender Zusammenhang:

$$(8) \quad J^2 = A \cdot B \cdot c_v \cdot \sigma / d$$

Daraus leitet sich ab, daß die Stromdichte durch den Schweißpunkt direkt proportional dem Produkt der Konstanten A und B ist. Die Proportionalitätskonstanten sind bekannte Materialkonstanten.

Zur Ermittlung der absoluten Schweißlinsengröße kann bei Messung der Stromstärke I der Elektrodendurchmesser ϕ_e nach Gleichung (9)

$$(9) \quad \phi_e^2 = I^2 \cdot R_o / (A \cdot B \cdot c_v \cdot \sigma)$$

bestimmt werden. In Gleichung (9) bedeutet

I den Effektivwert der Stromstärke,
 A, B die Konstanten aus Gleichung (5),
 R_o der spez. elektrischen Widerstand des Schweißgutes,
 c_v die spez. Wärme des Schweißgutes,
 σ die Dichte des Schweißgutes.

Durch Verwendung einer vorgegebenen Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit, z. B. nach Gleichung (4') kann nach Gleichung (4) jedem Durchlässigkeitswert D ein Temperaturwert in der Schweißlinse zugeordnet werden. Ist ein erstes Minimum in der Schalldurchlässigkeit des Schweißpunktes erreicht worden, bedeutet ein erneuter Anstieg der Ultraschalldurchlässigkeit

einen Abfall der Temperatur im Schweißpunkt. Unterschreitet die Temperatur im Schweißpunkt während der Stromflußphase einen vorgegebenen Schwellenwert z.B. die Schmelztemperatur, ist dies ein Hinweis auf eine Störung des Schweißprozesses und wird angezeigt.

Die Anzeige erfolgt dann, wenn ein zweites relatives Maximum der Ultraschalldurchlässigkeit erreicht wird und dieses Durchlässigkeitsmaximum einen vorgegebenen Höchstwert überschreitet.

Des weiteren kann kontinuierlich die Korrektur des Schweißlinsendurchmessers erfolgen. Wird eine Störung in der Weise angezeigt, daß die Temperatur der Schweißlinse für eine Zeitdauer t_3 die Schmelztemperatur unterschreitet, dann muß das durchgeführte Verfahren zur Ermittlung des Schweißlinsendurchmessers derart modifiziert werden; daß bei der Berechnung des Schweißlinsendurchmessers nach Gleichung (13) die Zeitdauer t_3 , während der die Temperatur der Schweißlinse unterhalb der Schmelztemperatur bleibt, von der Gesamtschweißdauer t abgezogen wird.

$$(11) \quad \phi = \phi_e * (-K_1 * (D(t_{\min}) / D'_m - t_{\min}) + K_2)$$

K_1, K_2 Konstanten, die durch Probeschweißungen ermittelt werden müssen,

$D(t_{\min})$ ist der Wert der normierten Ultraschalldurchlässigkeit zum Zeitpunkt des Minimums der Ableitung.

Aus den bisherigen Ausführungen geht hervor, daß der Verlauf der Ultraschalldurchlässigkeitsfaktoren in

einem Schweißpunkt als Funktion der Schweißdauer durch den Temperaturverlauf im Schweißpunkt bestimmt wird. Dies gilt bis zum Erreichen der Schmelztemperatur im Schweißgut. Danach wird der Ultraschalldurchlässigkeitsfaktor durch die Größe des aufgeschmolzenen Schweißlinsenvolumens bestimmt. Bei bekannten Materialien von Schweißelektroden und Schweißgut und bei bekannter Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeiten kann damit für jede Schweißstromstärke ein Musterverlauf des Ultraschalldurchlässigkeitsfaktors als Funktion der Schweißdauer vorherberechnet oder im Rahmen von Probeschweißungen experimentell aufgezeichnet werden.

Durch diesen Musterverlauf ist der Temperaturverlauf im Schweißpunkt und die Schweißlinsengröße festgelegt. Beispielsweise müssen das Maximum der Durchlässigkeit und die Schmelztemperatur nach vorgegebenen Zeiten erreicht werden.

In der Praxis ist neben einer Bewertung der Schweißpunkte eine Regelung des Schweißprozesses erwünscht, um schlechte Schweißungen zu vermeiden. Die Regelung des Schweißprozesses kann in der Weise erfolgen, daß der Verlauf der Ultraschalldurchlässigkeit mit einem vorgegebenen Musterverlauf (Sollwert) verglichen wird. Bei Abweichungen von diesem Musterverlauf werden die Schweißparameter, z.B. die Stromstärke entsprechend verändert, bis die nachfolgenden Durchlässigkeitswerte wieder mit dem Musterverlauf übereinstimmen.

Die Messung der Schallemission in einem zweiten Meßfenster, das z.B. jeweils direkt vor den Einschallzeitpunkten liegt, hat den Zweck Störungen bei der Bestim-

mung der Ultraschalldurchlässigkeitswerte, z. B. durch Spritzerbildung, zu erkennen. Werden in einem der zweiten Meßfenster Störsignale festgestellt, dann wird der nachfolgende Meßwert entsprechend dem Störeinfluß korrigiert oder durch den Mittelwert der Meßwerte vor und nach der Störung ersetzt.

Die Auswahl und die Anordnung des oder der Ultraschallsender und des oder der Ultraschallempfänger erfolgt entsprechend dem jeweiligen Anwendungsfall. Gegebenenfalls kann auch ein und derselbe Sensor als Ultraschallsender und -empfänger verwendet werden.

Darüberhinaus ist es auch möglich, Ultraschallwellen mit Laserstrahlen anzuregen.

Im folgenden soll deshalb lediglich exemplarisch ein Möglichkeit zur Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens beschrieben werden:

Fig. 1.1 zeigt die schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels der Erfindung mit an den Schweißelektroden angeordneter Sensorik. Die Elektroden 1 des Schweißgerätes sind mit Ultraschallwandlern versehen. Eine Elektrode des Schweißgerätes weist einen Ultraschallsender 2.1 auf. An der zweiten Elektrode befindet sich eine Empfangssonde 2.2, z.B. ein piezoelektrischer Ultraschallwandler.

Der Ultraschallsender 2.1 und der Empfänger 2.2 sind dabei auf der Außenwand des jeweiligen Elektrodenschafes 3 aufgebracht. Von der Sendesonde 2.1 ausgehend erfolgt die Durchschallung der Schweißlinse 4 mittels horizontal polarisierter Transversalwellen.

Beim Einsetzen des Schweißstromes wird zu Beginn jeder Stromhalbwelle ein Generator 5 getriggert, der nach einer einstellbaren Verzögerungszeit ein elektrisches Burstsinal an die Sendesonde 2.1 abgibt. Diese erzeugt in der Schweißelektrode 1 ein Ultraschallsignal, das sich über die Elektrode durch den Schweißpunkt bzw. die Schweißlinse 4 zur zweiten Elektrode fortpflanzt. An der zweiten Elektrode wird dieses Signal mit einer Empfangssonde 2.2 empfangen. Ein Blockschaltbild der Anordnung ist in Fig. 1.2 dargestellt.

Das Empfangssignal wird schmalbandig mittels eines Frequenzfilters 6 auf das Frequenzspektrum des Sendesignals gefiltert und in einem nachfolgenden Verstärker 7 um ca. 40 dB verstärkt. In der nachgeschalteten Auswerteeinheit 8 werden die Ultraschallsignale aufgezeichnet und analysiert. Die Auswerteeinheit 8 kann auch als Steuer- bzw. Regeleinheit für den Schweißprozeß verwendet werden.

Fig. 2 zeigt verschiedene Möglichkeiten für die Einkopplung und den Verlauf einer horizontal polarisierten Transversalwelle in der Wandung einer Rohrelektrode 1. Dabei zeigt Fig. 2.1 einen Längsschnitt und Fig. 2.2 einen Querschnitt bei der Linie A-B in Fig. 2.1.

Die von einem elektroakustischen Ultraschallwandler 2.1', der unter einem Winkel von 90° zur Rohrachse angeordnet ist, angeregte Welle läuft mit einer Frequenz von beispielsweise 100 KHz in die zu bewertende Schweißlinse 4 ein, die sich zwischen Blechen 9 gebildet hat. Die dabei eingesetzte Wellenlänge wird so gewählt, daß $\lambda/2$ in etwa dem Durchmesser der Elektrode

1 bzw. der sich ergebenden Schweißlinse 4 entspricht.

Zur Verbesserung der Ultraschalleinbringung kann die Einschallung der transversalen Ultraschallwellen auch durch einen Ultraschallwandler 2.1" unter einem Winkel von z.B. 45° erfolgen, vgl. Figur 2.1 (rechte Seite). Das Winkelstück 10 ist ebenfalls aus Kupfer gefertigt. In diesem Fall geht die gesamte Ultraschallenergie in den unteren Teil der Elektrode 1. Bei der senkrechten Einschallung gelangen dagegen nur ca. 50 % des Sendesignals in den unteren Elektrodenteil, die andere Hälfte breitet sich in entgegengesetzter Richtung aus, vgl. Fig. 2.1 (linke Seite). Die optimale Polarisationsrichtung der Transversalwellen ist in Figur 2.2 angegeben.

Die eingeschallten Signale werden entsprechend ihrem Einschallwinkel an den Elektrodenwandungen reflektiert und breiten sich in der Elektrodenwandung durch wiederholte Reflektion "zick-zack" förmig aus. Bei der angegebenen Polarisationsrichtung (horizontal zur Elektrodenoberfläche) findet bei den Reflektionen an den Elektrodenwandungen keine Umwandlung in andere Wellenarten statt. Diese in der Elektrodenwandung erzeugte Wellenart wird in der Fachliteratur als "SH-Welle" (Shear-Horizontal) bezeichnet.

Die Verwendung dieser Wellenart ist für die Durchschallung der Elektroden und der Schweißlinse zur Erzielung eines hohen Wirkungsgrades vorteilhaft.

Weiter sind in Fig. 2.1 entsprechende Anordnungen der Ultraschallempfänger 2.2' (rechtwinklig) und 2.2" (45° -Winkel) dargestellt.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur Bewertung von Widerstandsschweißverbindungen, unter Verwendung eines Ultraschallsenders, der den Schweißbereich mit Ultraschallwellen beaufschlagt, und eines Ultraschallempfängers, mit folgenden Schritten:

- während des Schweißvorgangs wird die Schallgeschwindigkeit c_2 der Ultraschallwellen im Schweißbereich als Funktion der Zeit t ermittelt,
- aus der ermittelten Schallgeschwindigkeit $c_2(t)$ im Schweißbereich wird die Temperatur $T(t)$ des Schweißbereichs durch Vergleich mit einer vorher bestimmten Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit $c_2(t)$ im Schweißgut als Funktion der Schweißdauer ermittelt wird,
- aus dem Temperaturverlauf $T(t)$ im Schweißbereich wird durch Vergleich mit der Schmelztemperatur des Schweißguts T_s der Aufschmelzzeitpunkt t_s des Schweißgutes bestimmt, und
- aus dem Aufschmelzzeitpunkt t_s wird während des Schweißvorganges der am Ende der Schweißdauer t zu erwartende Schweißlinsendurchmesser ϕ berechnet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Ultraschallwellen longitudinale Ultraschallwellen verwendet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß während des Schweißvorganges die Ultraschalldurchlässigkeit $D(t)$ (Ultraschalldurchlässigkeitsfaktor) als Funktion der Zeit gemessen und

hieraus die momentane Schallgeschwindigkeit $c_2(t)$ im Schweißpunkt ermittelt wird.

4. Verfahren zur on-line-Bewertung von Schweißvorgängen und insbesondere von Widerstandsschweißungen, unter Verwendung einer Ultraschallquelle, die den Schweißbereich mit Scherwellen beaufschlagt, und eines Ultraschallempfängers, mit folgenden Schritten:

- aus dem Ausgangssignal des Ultraschallempfängers wird der Zeitpunkt t_s ermittelt, an dem die Schmelztemperatur T_s des Schweißgutes erreicht wird, und sich eine Schweißlinse zu bilden beginnt,
- aus der Schwächung der Scherwellen nach dem Erreichen der Aufschmelztemperatur wird während des Schweißvorganges das Schweißlinsenvolumen V berechnet.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das momentane Schweißlinsenvolumen V zum Zeitpunkt $t > t_s$ über folgende Beziehung bestimmt wird:

$$V = B' * (D(t) - D(t_s)) + C'$$

hierbei bedeuten:

- B', C' experimentell bestimmte Konstanten
- $D(t)$ Ultraschalldurchlässigkeit zum Zeitpunkt t
- $D(t_s)$ Ultraschalldurchlässigkeit beim Erreichen der Schmelztemperatur.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß das am Ende der Schweißung erreichte Schweißlinsenvolumen V aus dem Zeitraum Δt vom Aufschmelzzeitpunkt bis zum Ende der Schweißung

über folgende Beziehung bestimmt wird:

$$V = B'' \cdot \Delta t + C'',$$

hierbei sind B'' und C'' experimentell zu ermittelnde Konstanten

7. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das in einem Zeitraum Δt vom Erreichen der Schmelztemperatur bis zum Ende der Schweißung erreichbare Schweißlinsenvolumen über folgende Beziehung ermittelt wird:

$$V = B''' (\Delta t + D(t_s) / ([D(t_s + \delta t) - D(t_s)] / \delta t)) + C'''$$

hierbei bedeuten:

B''' , C''' experimentell bestimmte Konstanten
 $D(t_s)$ Ultraschalldurchlässigkeit beim Erreichen der Schmelztemperatur, und
 δt "Zeitdifferential", d.h. kleines Zeitintervall.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Zeitpunkt, an dem die Schmelztemperatur T_s erreicht wird, dadurch ermittelt wird, daß der Zeitpunkt bestimmt wird, an dem sich die zeitliche Änderung der Schwächung der Scherwellen von einem vergleichsweise kleinen auf einen vergleichsweise großen Wert ändert.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

- die Schallgeschwindigkeit c_2 der Scherwellen im Schweißbereich wird als Funktion der Zeit t ermittelt,
- aus der ermittelten Schallgeschwindigkeit $c_2(t)$ im

Schweißbereich wird die Temperatur $T(t)$ des Schweißbereichs durch Vergleich mit einer vorher bestimmten Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit $c_2(t)$ im Schweißgut als Funktion der Schweißdauer ermittelt wird,

- aus dem Temperaturverlauf $T(t)$ im Schweißbereich wird durch Vergleich mit der Schmelztemperatur des Schweißguts T_s der Aufschmelzzeitpunkt t_s des Schweißgutes bestimmt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß während des Schweißvorganges die Ultraschalldurchlässigkeit $D(t)$ (Ultraschalldurchlässigkeitsfaktor) als Funktion der Zeit gemessen und hieraus die momentane Schallgeschwindigkeit $c_2(t)$ im Schweißpunkt ermittelt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Ultraschallgeschwindigkeit $c_2(t)$ aus der Ultraschalldurchlässigkeit $D(t)$ mittels folgender Gleichung berechnet wird:

$$c_2(t) = (\sigma_1 * c_1 / \sigma_2) * 1 / \sqrt{(1 + (\sigma_1 * c_1 / \sigma_2) * \sqrt{(1/D(t) - 1)})^2 / \pi * d * f}$$

wobei bedeuten:

- σ_1 Dichte der Schweißelektroden bzw. der Ultraschallquelle
- σ_2 Dichte des Schweißgutes,
- c_1 Schallgeschwindigkeit des Elektroden- bzw. Quellenmaterials,
- c_2 Schallgeschwindigkeit des Schweißgutes,
- d Dicke der Schweißlinse,
- f Ultraschallfrequenz.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung der Schall-durchlässigkeit $D(t)$ des Schweißbereichs während jeder Stromhalbwelle des Schweißstromes aus dem Ausgangssignal $A(t)$ des Ultraschallempfängers

- innerhalb eines ersten Zeitfensters i , das gegenüber dem Ultraschall-Sendesignal, dessen Sendepegel konstant gehalten wird, um eine definierte Verzögerungszeit verzögert ist, die mittlere Ultraschallenergie E_{1i} gemäß der folgender Gleichung ermittelt wird,

$$E_{1i} = 1/\Delta t_1 \int_0^{\Delta t_1} A(t)^2 dt$$

- und innerhalb eines zweiten, vor oder nach dem ersten Zeitfenster liegenden Zeitfensters, während dem keine Beaufschlagung des Schweißgutes mit Ultraschallwellen erfolgt, die durch den Schweißvorgang entstehende mittlere Schallemissionsenergie E_{2j} gemäß der folgenden Gleichung ermittelt wird

$$E_{2j} = 1/\Delta t_2 \int_0^{\Delta t_2} A(t)^2 dt.$$

13. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung der Schall-durchlässigkeit $D(t)$ des Schweißbereichs während jeder Stromhalbwelle des Schweißstromes aus dem Ausgangssignal $A(t)$ des Ultraschallempfängers

- innerhalb eines ersten Zeitfensters i , das gegenüber dem Ultraschall-Sendesignal, dessen Sendepegel

konstant gehalten wird, um eine definierte Verzögerungszeit verzögert ist, die Ultraschallgröße E_{1i} aus dem maximalen innerhalb dieses Zeitfensters auftretenden Ausgangssignals $A(t)$ ermittelt wird,

- und innerhalb eines zweiten, vor oder nach dem ersten Zeitfenster liegenden Zeitfensters, während dem keine Beaufschlagung des Schweißgutes mit Ultraschallwellen erfolgt, die durch den Schweißvorgang entstehende Schallemissionsgröße E_{2j} aus dem maximalen innerhalb des zweiten Zeitfensters auftretenden Ausgangssignal $A(t)$ ermittelt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß bestimmte Meßwerte für die Ultraschalldurchlässigkeit D korrigiert werden, wenn der laufend bestimmte Schallemissionspegel E_{2j} einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrektur dadurch erfolgt, daß der gestörte Schalldurchlässigkeitswert E_{1i} durch den Mittelwert der beiden Nachbarwerte ersetzt wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 3 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Scherwellen transversale Ultraschallwellen oder Torsionsschallwellen sind.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromstärke gemessen und aus der gemessenen Stromstärke der momentane Elektrodendurchmesser E ermittelt wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß der am Ende der Schweißdauer t zu erwartende Schweißlinsendurchmesser ϕ mittels folgender Gleichung aus dem Aufschmelzzeitpunkt berechnet wird:

$$\phi^2 = \phi_e^2 \cdot 2 \cdot T_s \cdot B \cdot c_s \cdot (t - t_s) / (c_v \cdot (\exp(B \cdot t_s) - 1))$$

wobei bedeuten:

ϕ_e Elektrorendurchmesser,
 c_s spez. Schmelzwärme des Schweißgutes,
 c_v spez. Wärme des Schweißgutes,
 t Gesamtschweißdauer,
 t_s Aufschmelzzeitpunkt,
 und der Wert von B empirisch ermittelt wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Wert von B sowie der Wert einer weiteren Größe A aus dem zeitlichen Temperaturverlauf $T(t)$ im Schweißgut über den folgendem Zusammenhang

$$T(t) = A \cdot (1 - \exp(-B \cdot t))$$

insbesondere nach einem "best fit"-Verfahren bestimmt werden.

20. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, daß für die Werte von A und B die folgenden Beziehungen näherungsweise gelten:

$$A = J^2 \cdot R_o \cdot d / k$$

$$B = k / (c_v \cdot \sigma \cdot d)$$

wobei bedeuten

J Stromdichte,

R_o spez. elektrischen Widerstand des Schweißgutes,

c_v spez. Wärme des Schweißgutes,

σ Dichte des Schweißgutes,

d Dicke des Schweißgutes

k Wärmeleitzahl des Systems Schweißgut/Elektrode

und daß aus den ermittelten Werten von A und B die tatsächliche Stromdichte J im Schweißgut gemäß der folgenden Gleichung ermittelt wird:

$$J^2 = A \cdot B \cdot c_v \cdot d / \sigma.$$

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß während der Schweißung durch Änderung der Stromstärke I oder der Schweißdauer t das Schweißergebnis beeinflusst wird.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß unter Anwendung der Beziehung $A = J^2 \cdot R_o \cdot d / k$ ein "best fit" Aufschmelzzeitpunkt t_s bestimmt wird, der weitgehend unabhängig von zufälligen Meßwertschwankungen der Ultraschalldurchlässigkeit D ist.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung der absoluten Schweißlinsengröße ϕ bei Messung der Stromstärke I der Elektrodendurchmesser ϕ_e nach Gleichung (12)

$$(12) \quad \phi_e^2 = I^2 \cdot R_o / (A \cdot B \cdot c_v \cdot \sigma)$$

bestimmt wird.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß zur Anzeige von Störungen des Schweißprozesses (Schweißgut geht verloren, die Temperatur im Schweißpunkt unterschreitet als vorgegebenen Schwellenwert die Schmelztemperatur) ein zweites relatives Maximum der Ultraschalldurchlässigkeit angezeigt wird, wenn dieses Durchlässigkeitsmaximum einen vorgegebenen Höchstwert überschreitet.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß bei angezeigter Störung derart, daß die Temperatur der Schweißlinse für eine Zeitdauer t_3 die Schmelztemperatur unterschreitet das Verfahren zur Ermittlung des Schweißlinsendurchmessers so modifiziert wird, daß bei der Berechnung des Schweißlinsendurchmessers nach Gleichung (5) die Zeitdauer t_3 von der Gesamtschweißdauer abgezogen wird.

26. Anordnung zur Ultraschalleinbringung bei der Analyse von Widerstandsschweißverbindungen, mit

- einem Ultraschallsender, der die Widerstandsschweißverbindung mit Ultraschall beaufschlagt, und
- einem Ultraschallempfänger, der die Ultraschallsignale nach der Durchschallung empfängt, und dessen Ausgangssignal zur Bewertung und gegebenenfalls zur Regelung von Schweißprozessen eine Auswerte- und Steuereinheit auswertet,

dadurch gekennzeichnet, daß der Ultraschallsender (2.1) am äußeren Elektrodenschaft (3) oder am Elektrodenhalter befestigt ist, und für die Durchschallung der Schweißpunkte Scherwellen und insbesondere Transversal- oder Torsionswellen erzeugt.

27. Anordnung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß der Ultraschallempfänger am äußeren Elektrodenschaft (3) oder am Elektrodenhalter befestigt ist.

28. Anordnung nach Anspruch 27 dadurch gekennzeichnet, daß der Ultraschallsender an der Außenwand des Elektrodenschaftes (3) oder des Elektrodenhalters der einen Elektrode (1) des Schweißgerätes und der Ultraschallempfänger (2.2) an der anderen Schweißelektrode angeordnet ist.

29. Anordnung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß lediglich an der Außenwand des Elektrodenschaftes oder -halters einer Elektrode ein Ultraschallwandler vorgesehen ist, der im Sende- und Empfangsbetrieb betreibbar ist.

30. Anordnung nach einem der Ansprüche 26 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß die in der Elektrodenwandung mit einem elektroakustischen Ultraschallwandler angeregten Transversal- oder Torsionswellen im Frequenzbereich von 50 bis 500 KHz liegen.

31. Anordnung nach einem der Ansprüche 26 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß der Arbeitsbereich für die Frequenz bis 1 MHz beträgt.

32. Anordnung nach einem der Ansprüche 26 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß der Polarisationsvektor der horizontal polarisierten Transversalwelle senkrecht zur Rohrachse der Elektroden (1) ausgerichtet ist.

33. Anordnung nach einem der Ansprüche 26 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenz der für die Ultraschalleinbringung eingesetzten Transversal- oder Torsionswellen so gewählt wird, daß die zugehörige halbe Wellenlänge $\lambda/2$ in etwa dem Durchmesser der Schweißelektrode bzw. der Schweißlinse (4) entspricht.

34. Anordnung nach einem der Ansprüche 26 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß horizontal polarisierte Transversalwellen unter einem Winkel eingeschallt werden.

1/3

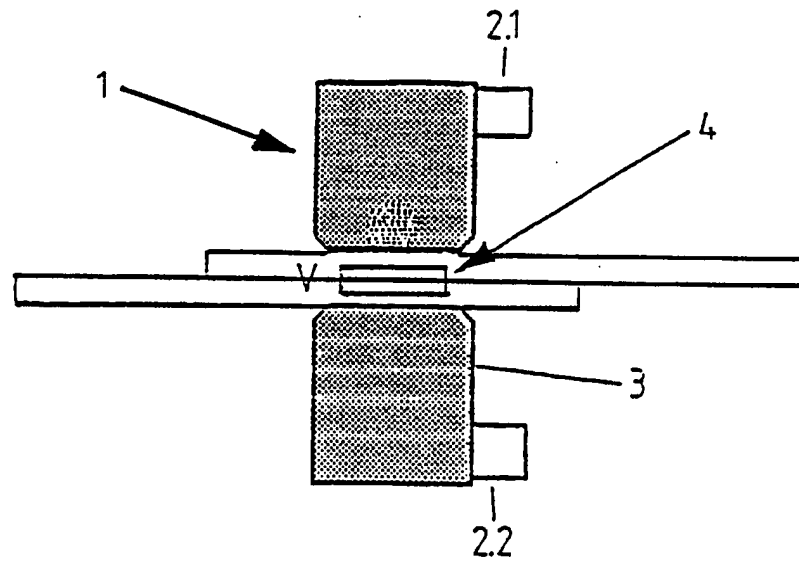


FIG. 1.1

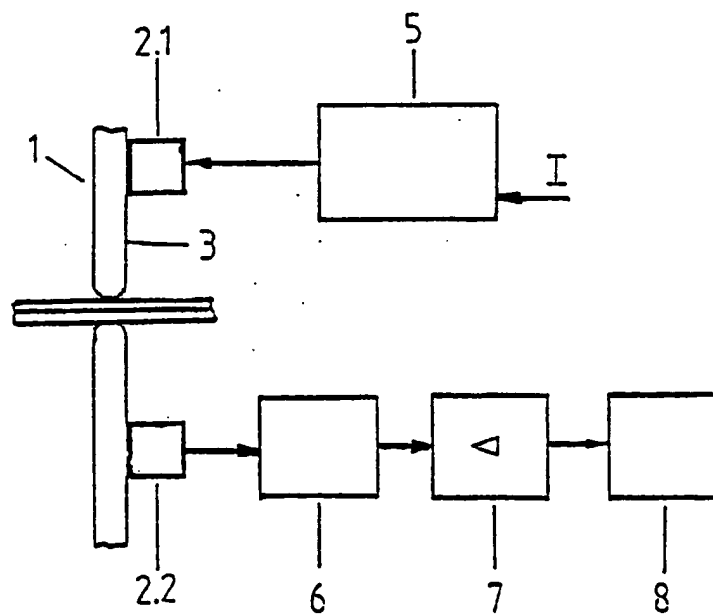


FIG. 1.2

2/3

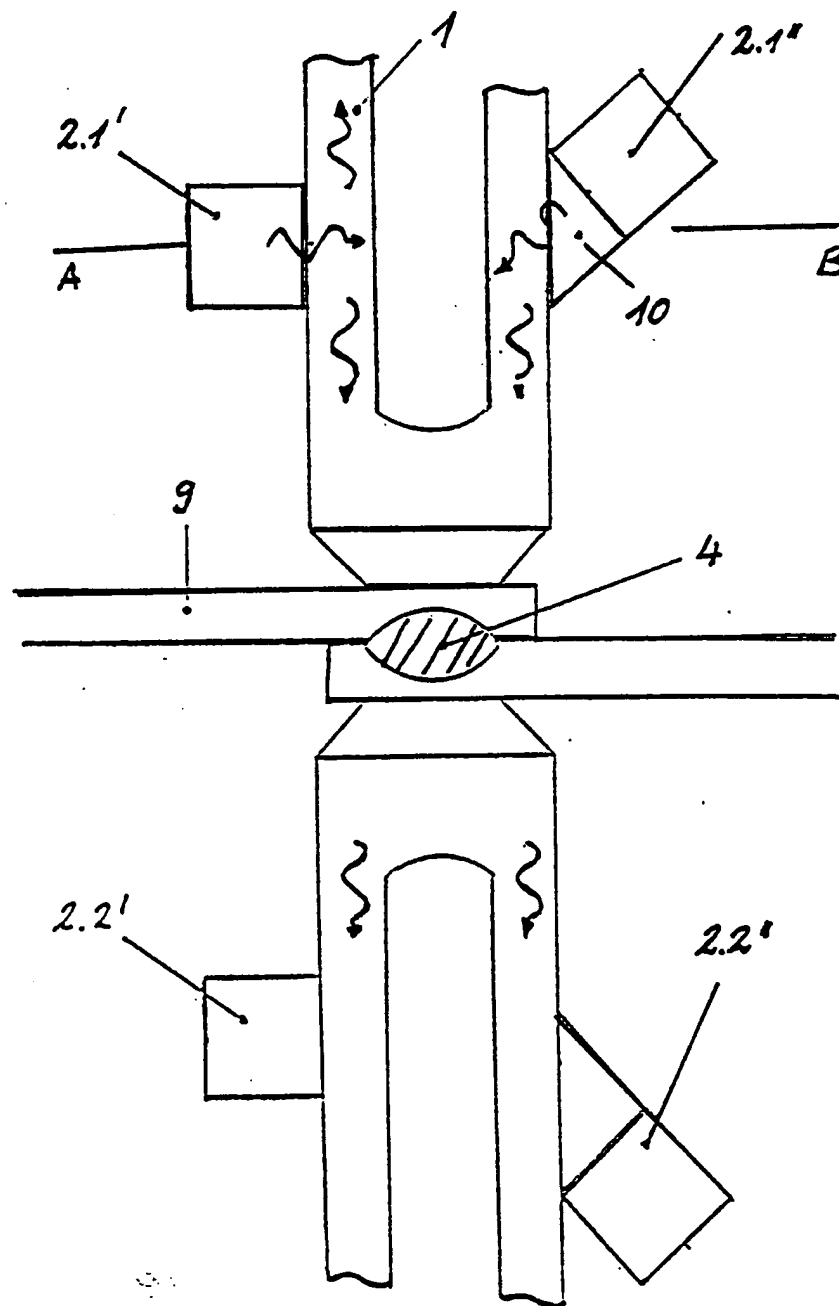


Fig. 2.1

3/3

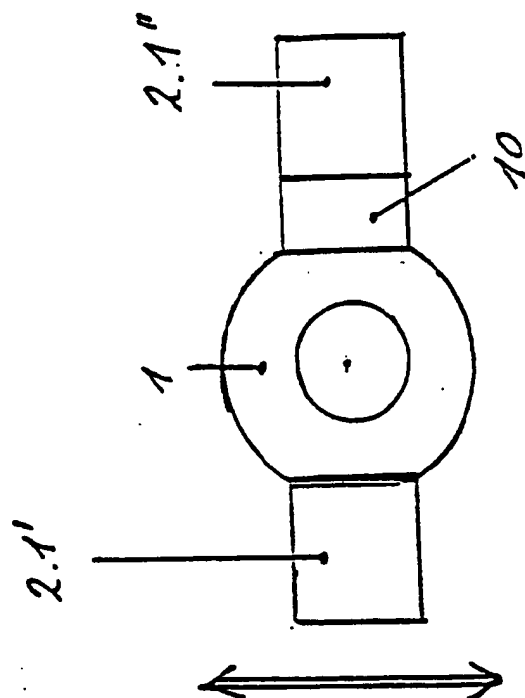


Fig. 2.2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. Appl. No.

PCT/DE 93/00675

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 5 G01N29/04 B23K11/25 G01N29/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 5 G01N B23K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP,A,0 284 177 (GENERAL ELECTRIC CORP.) 28 September 1988 see the whole document ---	1,24
Y	DE,A,14 73 400 (KARL DEUTSCH) 9 January 1969 see the whole document ---	1,4,26
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 013, no. 138 (P-852)5 June 1987 & JP,A,63 305 244 (SUMITOMO METAL IND.) 13 December 1988 see abstract ---	1,4,26
A	FR,A,2 334 461 (MITSUBISHI) 8 July 1977 cited in the application see the whole document -----	1,4,26



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 November 1993

Date of mailing of the international search report

07.12.93

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

KOUZELIS, D

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

International Application No

PCT/DE 93/00675

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP-A-0284177	28-09-88	US-A- 4711984 JP-A- 63235082	08-12-87 30-09-88
DE-A-1473400	09-01-69	FR-A- 1348689 US-A- 3410983	
FR-A-2334461	08-07-77	JP-C- 1012351 JP-A- 52069683 JP-B- 55002582 DE-A,B,C 2655415 GB-A- 1523818 US-A- 4099045	29-08-80 09-06-77 21-01-80 07-07-77 06-09-78 04-07-78

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internales Aktenzeichen

PCT/DE 93/00675

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 IPK 5 G01N29/04 B23K11/25 G01N29/18

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 IPK 5 G01N B23K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP,A,0 284 177 (GENERAL ELECTRIC CORP.) 28. September 1988 siehe das ganze Dokument ---	1,24
Y	DE,A,14 73 400 (KARL DEUTSCH) 9. Januar 1969 siehe das ganze Dokument ---	1,4,26
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 013, no. 138 (P-852) 5. Juni 1987 & JP,A,63 305 244 (SUMITOMO METAL IND.) 13. Dezember 1988 siehe Zusammenfassung ---	1,4,26
A	FR,A,2 334 461 (MITSUBISHI) 8. Juli 1977 in der Anmeldung erwähnt siehe das ganze Dokument -----	1,4,26

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

23. November 1993

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

07.12.93

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

KOUZELIS, D

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Intern. Aktenzeichen

PCT/DE 93/00675

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP-A-0284177	28-09-88	US-A- 4711984 JP-A- 63235082	08-12-87 30-09-88
DE-A-1473400	09-01-69	FR-A- 1348689 US-A- 3410983	
FR-A-2334461	08-07-77	JP-C- 1012351 JP-A- 52069683 JP-B- 55002582 DE-A,B,C 2655415 GB-A- 1523818 US-A- 4099045	29-08-80 09-06-77 21-01-80 07-07-77 06-09-78 04-07-78